

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-256987

(43)公開日 平成11年(1999)9月21日

(51) Int.Cl.
E 21 D 9/06
G 01 B 7/00

識別記号
3 1 1

F I
E 21 D 9/06
G 01 B 7/00

3 1 1 D
R

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 15 頁)

(21)出願番号

特願平10-65443

(22)出願日

平成10年(1998)3月16日

(71)出願人 000173809
財団法人電力中央研究所
東京都千代田区大手町1丁目6番1号
(71)出願人 000156938
関西電力株式会社
大阪府大阪市北区中之島3丁目3番22号
(71)出願人 594194701
有限会社千葉電子研究所
千葉県佐倉市宮前1丁目13番4号
(72)発明者 楠 建一郎
千葉県柏市西山2-19-4
(74)代理人 弁理士: 吉田 茂明 (外2名)

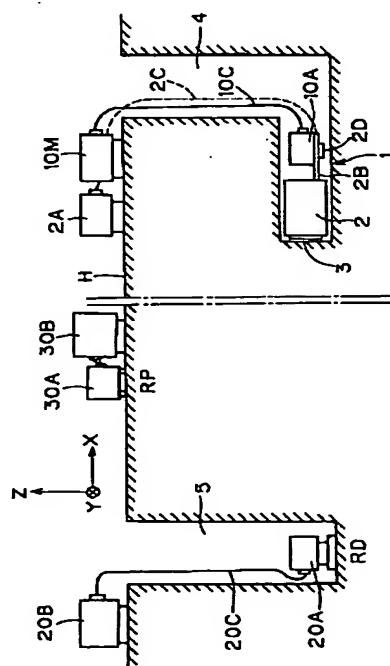
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 推進工法でのトンネル掘削路誘導方法およびそのための装置

(57)【要約】

【課題】 トンネルの推進工法において、直進掘削および曲進掘削のいずれにも適用可能であるとともに、効率的に掘削路を誘導できるようにすること。

【解決手段】 掘削目標方向のボーリング坑5内に地中送信部20Aを配置し、切羽3に向けて電波波長帯の指向性電磁波を送信する。切羽3付近に配置した受信部10Aでこの電磁波を受信し、モニタ10Mでその受信強度を監視することにより切羽3から地中送信部20Aへ向かう方向がどの方向であるかを知る。その方向に掘削機2による掘削誘導を行うことにより、直進掘削および曲進掘削のいずれにおいても効率的に掘削路を誘導できる。さらに地表送信部30Aを設けて鉛直下方に電磁波を送信すれば、地表基準位置RPの直下まで掘り進めることを知ることもできる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 推進工法においてトンネル掘削路を誘導する方法であって、
トンネル掘削方向の前方の基準位置から送信した電波波長帯の電磁場をトンネル掘削路の切羽付近で受信することにより、前記トンネル掘削路と前記基準位置との空間的関係を特定し、
前記空間的関係に基づいて前記トンネル掘削路を誘導することを特徴とするトンネル掘削路誘導方法。

【請求項2】 請求項1の方法において、
前記電磁波として指向性を有する電磁波を使用することを特徴とするトンネル掘削路誘導方法。

【請求項3】 請求項2の方法において、
前記基準位置を地中位置に設定してあることを特徴とするトンネル掘削路誘導方法。

【請求項4】 請求項3の方法において、
前記トンネル掘削路を誘導すべき方向をコイル軸方向として前記地中位置に送信コイルを配置し、
前記切羽付近に配置した受信コイルで前記電磁波を受信することにより、前記受信コイルの受信強度が最小になる方向を前記地中位置に向かう方向と一致させることを特徴とするトンネル掘削路誘導方法。

【請求項5】 請求項2の方法において、
前記基準位置を地表位置に設定してあることを特徴とするトンネル掘削路誘導方法。

【請求項6】 請求項5の方法において、
鉛直方向をコイル軸とする送信コイルを前記地表位置に配置し、
前記切羽付近に配置した受信コイルで前記電磁波を受信することにより、前記受信コイルの受信強度が最小になる位置を前記地表位置の直下の位置と一致させることを特徴とするトンネル掘削路誘導方法。

【請求項7】 請求項4または請求項6に記載の方法において、
前記電磁波の受信強度を対数変換した信号に基づいて前記基準位置と前記切羽付近との前記空間的関係を表示し、

前記表示に基づいて前記トンネル掘削路を誘導することを特徴とするトンネル掘削路誘導方法。

【請求項8】 推進工法においてトンネル掘削路を誘導するための装置であって、

(a) トンネル掘削方向の前方の基準位置に設置可能であり、指向性を有する電波波長帯の電磁場を送信する送信手段と、

(b) 前記電磁波をトンネル掘削路の切羽付近で受信し、前記電磁場の受信強度に基づいて前記トンネル掘削路と前記基準位置との空間的関係を特定する信号を生成する受信手段と、を備えることを特徴とするトンネル掘削路誘導装置。

【請求項9】 請求項8の装置において、

前記受信手段は、
(b-1) 前記電磁波を受信する受信コイルと、
(b-2) 前記受信コイルの出力信号を検波する検波手段と、
(b-3) 前記検波手段によって検波された信号を対数変換する対数変換手段と、
(b-4) 前記対数変換された信号を表示する表示手段と、
を有することを特徴とするトンネル掘削路誘導装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、推進工法におけるトンネル掘削路の誘導方法およびその装置に関するもので、特に、直進掘削および曲進掘削のいずれにおいても掘削路を効率的に誘導するための技術に関する。

【0002】

【従来の技術】トンネルの推進工法は、地上の交通を阻害せず、かつ周囲への騒音の拡散も少ないなどの多くの利点がある。このため、推進工法は、電力ケーブルなどのエネルギー伝送路の埋設用トンネルのほか、電話線や光ファイバケーブルなどの情報伝送路の埋設用トンネルなどなどの種々のトンネルの掘削において利用されている。

【0003】ところが、推進工法においてはトンネルの掘削現場の位置やその時点での掘削方向を地表の目標点との関係で直接に確認できないために、トンネル掘削路を誘導するための特別の技術が必要とされる。推進工法におけるこのような誘導方法としては、従来、以下のようなものが知られている。

【0004】まず、第1の従来技術は人力によるものであって、切羽付近に設置したターゲットを測量によってトンネル後方から見通して、切羽の方向性の監視を行うものである。

【0005】また、第2の従来技術は、切羽付近に設置したターゲットにトンネル後方からレーザビーム照射し、トンネル後方のレーザトランシットによって切羽の方向性を監視を行うものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところが、第1の従来技術では、推進工法のトンネル構内は狭いために直進掘削においても測量作業が困難であり、多大の作業時間がかかるという問題がある。

【0007】また、最近開発されている曲進掘削では、屈曲部分の内張管も工事の進展に伴って移動するという推進工法の特殊性があるために、屈曲部分ごとに基準点を設置できない。このため、測量の必要性が生じることに坑口から測量しなおさねばならず、測量に費やす時間および入手がさらに増大している。

【0008】一方、第2の従来技術は直進掘削においては有効であるが、レーザ光の直進性によって曲進掘削ではその使用が困難である。これに関して、曲進掘削では

屈曲部分ごとに反射鏡やレーザ光送受信装置を設置することも考えられる。しかしながら、上記のように推進工法では屈曲部分の内張管も工事の進展に伴って移動するために、工事の進展に伴ってその都度、反射鏡やレーザ光送受信装置を設置し直さなければならない。このため、このような改良を行ったとしても、時間や人手のロスは大きいものになる。

【0009】

【発明の目的】この発明は従来技術における上記の問題の克服を意図しており、トンネルの推進工法において、直進掘削および曲進掘削のいずれにも適用可能であるとともに、効率的に掘削路を誘導できる技術を提供することを目的とする。

【0010】

【発明の基本原理】上記の目的を達成するために、この発明では電波波長帯の電磁波を使用する。

【0011】レーザ光などの光波波長帯の電磁波と異なって電波波長帯の電磁波は地中を伝播可能であるため、地中に電磁波を放射してそれを切羽付近で受信し、その受信方向や受信強度を判定することによってトンネルのその後の掘削誘導を行う。

【0012】周知のように、空中と比較して地中では電磁波の減衰が比較的大きい。しかしながら、トンネルの掘削誘導に使用される距離は通信などで使用されるほどには長距離ではないため、電波波長帯の電磁波を使用し、実質的に電磁波が減衰してしまわない程度の距離（たとえば数十～数百m）だけ離れた位置からの掘削誘導には十分に耐えるものである。

【0013】地中に存在する金属（たとえば既設の水道管）などを磁気的に検知して掘削誘導するような技術も考えられるが、このような受動的な方法と比較してこの発明では積極的に電磁波を送信してそれを検知しているため、検出地点での磁場強度も大きく、検知精度も高いものとなる。

【0014】なお、以下では、その時点での切羽から掘削をさらに進めるべき方向、すなわち掘削誘導方向として適正な方向を「適正誘導方向」と呼ぶことにする。

【0015】

【課題を解決するための手段】このような基本原理に基づいて構成された請求項1の発明では、トンネル掘削方向の前方の基準位置から送信した電波波長帯の電磁場をトンネル掘削路の切羽付近で受信することにより、前記トンネル掘削路と前記基準位置との空間的関係を特定し、前記空間的関係に基づいて前記トンネル掘削路を誘導することを特徴とする。

【0016】また、請求項2の発明では、請求項1の方法において、前記電磁波として指向性を有する電磁波を使用することを特徴とする。

【0017】請求項3の発明では、請求項2の方法において、前記基準位置を地中位置に設定してあることを特

徴とする。

【0018】請求項4の発明では、請求項3の方法において、前記トンネル掘削路を誘導すべき方向をコイル軸方向として前記地中位置に送信コイルを配置し、前記切羽付近に配置した受信コイルで前記電磁波を受信することにより、前記受信コイルの受信強度が最小になる方向を前記地中位置に向かう方向と一致させることを特徴とする。

【0019】請求項5の発明では、請求項2の方法において、前記基準位置を地表位置に設定してあることを特徴とする。

【0020】請求項6の発明では、請求項5の方法において、鉛直方向をコイル軸とする送信コイルを前記地表位置に配置し、前記切羽付近に配置した受信コイルで前記電磁波を受信することにより、前記受信コイルの受信強度が最小になる位置を前記地表位置の直下の位置と一致させることを特徴とする。

【0021】請求項7の発明では、請求項4または請求項6に記載の方法において、前記電磁波の受信強度を対数変換した信号に基づいて前記基準位置と前記切羽付近との前記空間的関係を表示し、前記表示に基づいて前記トンネル掘削路を誘導することを特徴とする。

【0022】一方、請求項8の発明は、推進工法においてトンネル掘削路を誘導するための装置として構成されており、(a)トンネル掘削方向の前方の基準位置に設置可能であり、指向性を有する電波波長帯の電磁場を送信する送信手段と、(b)前記電磁波をトンネル掘削路の切羽付近で受信し、前記電磁場の受信強度に基づいて前記トンネル掘削路と前記基準位置との空間的関係を特定する信号を生成する受信手段とを備えることを特徴とする。

【0023】また、請求項9の発明は、請求項8の装置において、前記受信手段が、(b-1)前記電磁波を受信する受信コイルと、(b-2)前記受信コイルの出力信号を検波する検波手段と、(b-3)前記検波手段によって検波された信号を対数変換する対数変換手段と、(b-4)前記対数変換された信号を表示する表示手段と有することを特徴とする。

【0024】

【発明の実施の形態】※ <全体構成および基本原理>
図1はこの発明の実施形態を適用する状況例を示す図であり、推進工法によって地中にトンネル1を掘削している状況が模式的に示されている。また、図2は図1を上方から透視的に見て電磁波の送信部および受信部に関係する部分のみを示した模式的平面図である。これらの図1、図2においては、説明の便宜上、地表面Hに対して平行な面（水平面）をXY方向とし、鉛直方向をZ方向とする直角座標系が定義されている。また、ここではX方向として、その時点でトンネル1の掘削誘導を行うべき方向にとっているが、これは便利的なものである。

【0025】掘削機2は推進工法において周知のものであり、切羽3を掘削しつつトンネル1を掘り進める。以下で詳述するように、掘削方向の前方の地表および地中にそれぞれ配置された送信部20A、30Aから電波波長帯の電磁波を地中に送信し、それを受信部10Aで受信することによって、掘削機2による以後の掘削方向を誘導できるようになっている。図示例では、受信部10Aは掘削機2の後方に張り出した支持体2B上に配置されている。

【0026】掘削機2は金属製の部品を多く含むため、電磁波は掘削機2をそのまま透過することができない。しかしながら、光波と異なり、伝播領域の電磁波は掘削機2の後方にまで回り込むことができるため、掘削機2の存在は電磁波の受信に本質的な障害とはならない。

【0027】そして、図1、図2においては直進トンネル1が示されているが、この実施形態の方法では地中を伝播する電磁波を利用するため、図2中に破線で示す曲進トンネル1aであってもこの誘導方法は適用可能である。それは、この発明の方法の実施には、抗口から切羽3までの区間での測量を行う必要はないためである。

【0028】以下、各部の構成と動作を順次に説明する。

【0029】※ <地中送信系の概要>トンネル1の掘削方向の前方にはボーリング坑5が掘られており、その中の地中基準位置R Dには可搬性の地中送信部20Aが配置されている。この地中送信部20Aにおいては、図3に示すように送信コイル21と、この送信コイル21に約1kHzの送信用電力を供給する送信回路部22とが、電磁波透過性を有する材料（たとえば樹脂）で形成されたケース中に収容されている。送信コイル21のコイル軸A₁₁は図1および図2におけるトンネル1の誘導方向、より具体的には切羽3付近に向かう方向（X方向）とされている。図1の地表には可搬性の送信電源部20Bが置かれており、ボーリング坑5を通したケーブル20Cによって図3の送信回路部22へと電源供給を行う。送信コイル21から輻射される電磁波は、この送信コイル21のコイル軸A₁₁を対称軸とするような対称性を持った指向性を有する電磁波である。

【0030】※ <地表送信系の概要>一方、図1および図2において、トンネル1の掘削方向の前方の地表でかつトンネル1の掘削目標位置の上方に相当する地表基準位置Pには可搬性の地表送信部30Aが配置されている。この地表送信部30Aにおいては、図4に示すように送信コイル31と、この送信コイル31に約1kHzの送信用電力を供給する送信回路部32とが、電磁波透過性を有する材料（たとえば樹脂）で形成されたケース中に収容されている。図3の地中送信部20Aと異なり、図4の送信コイル31のコイル軸A₁₁は鉛直方向Zとなっている。図1に示すようにこの地表送信部30Aの近傍には同じく可搬性の送信電源部30Bが置かれて

おり、ケーブルによって図4の送信回路部32へと電源供給を行う。

【0031】この送信コイル31から輻射される電磁波もまた、この送信コイル31のコイル軸A₁₁を対称軸とするような対称性を持った指向性を有する電磁波である。

【0032】※ <受信系の概要>図1の受信部10Aの内部構成の概要が図5に透視図として示されている。図5において、電磁波透過性を有する材料（たとえば樹脂）のケース13の中には3つの受信コイル11Y、11a、11bが配置されている。ケース13の正面13Fがトンネル1の現在の適正誘導方向に向いた状態での方位関係で言えば、その配置関係は以下のようなになっている。

【0033】①第1の受信コイル11Yは、そのコイル軸A₁₁が、水平面内でかつトンネル1の現在の掘削方向に対してほぼ直角の方向、すなわち図1の座標系で言えば切羽3の面にほぼ平行な方向Yを向くように配置されている。この第1の受信コイル11Yは、後述するように図1の地中送信部20Aからの電磁波を受信して、切羽3の水平方向（左右方向）の誘導を行うためなどに使用される。

【0034】②第2の受信コイル11aと第3の受信コイル11bとは互いに結線されてベクトル受信コイル11Vとして使用されるものである。そして、第2の受信コイル11aと第3の受信コイル11bとのそれぞれのコイル軸A₁₁、A₁₁bが、切羽3にほぼ直角な垂直面内でかつ鉛直軸Zに対して対称にV型になるようにこれらの受信コイル11a、11bが配置されている。これらの一对のコイル11a、11bからなるベクトル検出コイル11Vは、主として上下方向（深さ方向）の掘削誘導を行うとともに、図1の地表送信部30Aからの電磁波を受信して地表基準位置Pの直下まで掘削を誘導するためにも使用される。

【0035】これら2つの受信コイル11a、11bのコイルの巻方向は同方向でもよく、逆方向でもよいが、この実施形態の装置ではコイル11a、11bのコイルの巻方向は同方向（たとえば右巻き）とされている。受信コイル11a、11bの受信電圧は、それらの相互接続点から取り出した配線Gを基準電位として検出する。

【0036】受信部10Aにはまた受信回路部12が内蔵されており、各コイル11X、11a、11bから伸びる配線が、この受信回路部12に接続されている。受信回路部12はケーブル10Cを介して図1のモニタ部10Mに接続されている。このモニタ部10Mは、受信部10Aでの受信状況をモニタして表示する。また、掘削機2を遠隔操縦で操作し、掘削方向を維持または変更するための可搬性の掘削機操作部2A（図1）が地表に設置されており、破線で示すケーブル2Bを介して掘削機2に接続されている。

【0037】図1の掘削機2からその後方に伸びる支持体2Bには受信部駆動機構2Dを設けてあり、これによって受信部10Aの向きを遠隔操縦で変化させることができ。このような向きの変更は、水平面内の旋回および垂直方向への俯仰との双方を含む。また、ケーブル2Bは掘削機2自身の遠隔操作のためだけでなく、この受信部回転機構2Dの遠隔制御信号をも伝送できるようになっている。掘削機操作部2Aにはこの受信部回転機構2Dの遠隔操作のための操作部も設けておくことができる。

【0038】なお、モニタ部10Mおよび掘削機操作部2Aへの電源供給は、たとえば12Vのバッテリ駆動で行うことができる。

【0039】※<掘削方向誘導の原理>以上の各部の詳細な回路構成を説明する前に、このシステムによる掘削方向の誘導原理について先に説明しておく。図6は、地中に配置した送信コイル21と、受信部10中の受信コイル11Yとの位置関係を上方から見た模式図である。ただし、破線は送信電磁波における磁束線の対称分布性を示している。この図6において、送信コイル21の軸A₂₁の延長線上に受信コイル11Yがあり、かつ受信コイル11Yの軸A₁が送信コイル21の軸方向A₂₁と直角である（すなわちちょうどY方向にあり、適正誘導方向になっている）ような状態F1では、受信コイル11Yの中心を対称軸として、逆方向かつ同じ大きさの磁束がこの受信コイル11Yの一端側の半分と他端側の半分とをそれぞれ貫く。したがって、受信コイル11Yの受信強度は最小（理想的にはゼロ）になる。図6では磁束が静磁場として描かれているが、上記の事情は送信電磁波が交流波であって磁束分布が動的に変化することを考慮しても変わらない。それは、上記の事情が空間の対称性に基づいているからである。

【0040】これに対して、受信コイル11Yの軸A₁が状態F2のようにY方向から傾いていたり、受信コイル11Yの軸A₁が状態F3のように送信コイル21の軸A₂₁からはずれていれば、受信コイル11Yの中を通る磁束の対称性が失われ、受信コイル11Yの両端には電圧が現れる。この受信強度（正確には受信した電磁波の振幅）は対称状態F1からのズレの大きさに応じて増大し、また、受信電圧の位相は対称状態F1からの受信コイル11Yの方向ズレの極性を反映している。

【0041】したがって、受信コイル11Yの受信電圧から送信コイル21と受信コイル11Yとの方向関係を知ることができる。そして受信コイル11Yは受信部10A（図1、図5）内に存在するから、トンネル1の切羽3の付近での受信部10Aが、その時点において地中送信部20A（したがって地中基準位置RDに向かう方向）と水平面内（切羽3から見たときには左右方向）で整合しているかどうかを知ることができる。

【0042】すなわち、切羽3付近において、受信部1

0Aの第1の受信コイル11Yの受信強度が最小（理想的にはゼロ）になる方向を検せば、その方向がすなわち地中基準位置RDに向かう適正誘導方向ということになり、その方向に掘削機2で掘り進めれば所定のラインに沿ってトンネル1を掘削していくことができる。

【0043】また、その時点で目標とする方向よりも切羽3が右にずれているか、それとも左にずれているかは、受信コイル11Yの受信電圧の位相で知ることができる。

【0044】ここにおいて、図2のボーリング坑5内における送信部20Aの設置深さと向き（したがって、その中に内蔵されている送信コイル21の軸A₂₁の方向）は、トンネル1の掘削計画から定めることができるものである。切羽3では常に地中基準位置RDに向かって掘削を行えばよい。

【0045】また、図6において受信コイル11Yの方向が送信コイル21の軸A₂₁の方向から著しくずれた状態F4にあるようなときにはこの受信コイル11Yの受信強度がゼロに近くなる場合もあり得る。しかしながら、掘削方向の誘導は適正誘導方向に沿って順次に行われるため、このような異常なずれが生じることは少なく、状態F1またはその近傍の状態で検出が行われることが通常であるため、この問題が実質的な影響を生じることはない。

【0046】ところで、コイル軸の向きをX方向とした受信コイルを配置し、その受信コイルが検出する磁場が最大になる方向を掘削誘導方向とすることもできる。しかしながら、この実施形態のように最小磁場方向をとらえるようにすれば、後述するような他の利点があるため、この実施形態では方向誘導において主として最小磁場方向を検知するように構成し、最大磁場方向の検知による誘導は補助的に使用する。

【0047】一方、受信コイル11Yについての上記の原理と同様の理由で、コイル軸をZ方向とした別の受信コイルを設ければ、その受信コイルの受信電圧を検知することによって、トンネル1の切羽3の付近での受信部10Aの向きが、その時点において地中送信部20Aに向かう適正誘導方向（したがって地中基準位置RDに向かう方向）と垂直面内（上下方向）でずれているかどうかを知ることができる。つまり第1の受信コイル11Yは主として水平面内での掘削方向検知用として設けられるが、この別の受信コイルは垂直面内での掘削方向検知用である。

【0048】このような理由から、Z軸方向をコイル軸とするような別の受信コイルを設けてもよいが、この実施形態ではこのような深さ方向での方向誘導を図5のベクトル受信コイル11Vを使用して行うようにしている。

【0049】このベクトル受信コイル11Vは後述するようにX方向コイルとZ方向コイルとの双方の機能を有

するが、ここで上記の受信コイル $11Y$ を含めて各受信コイルの使用目的を下記の「関係表1」として整理しておき、後に適宜に参照する。ただし、

「Yコイル」=受信コイル $11Y$

「Xコイル」=ベクトル受信コイル $11V$ のうちX成分
「Zコイル」=ベクトル受信コイル $11V$ のうちZ成分とする。

【0050】この「関係表1」のうち②については既に説明した。

【0051】[関係表1]

●方向検知時

①Xコイル…最大検知（左右上下方向誘導補助）

②Yコイル…最小検知（左右方向誘導）

③Zコイル…最小検知（上下方向誘導）

●目標位置検知時

④Xコイル…最小検知（左右ズレ判定）

⑤Yコイル…最小検知（前後ズレ判定）

⑥Zコイル…最大検知（前後左右ズレ判定補助）

ベクトル受信コイル $11V$ の作用は次のようなものである。まず、このベクトル受信コイル $11V$ の機能のうち、垂直面内（上下方向ないしは深さ方向）での方向誘導について説明する。ベクトル受信コイル $11V$ 中の第2のコイル $11a$ と第3のコイル $11b$ とのそれぞれの受信電圧のベクトル差を求めるところを考える。ここで、図5に示すように接地点Gは両コイル $11a$, $11b$ の中間から取り出すため、2つのコイル $11a$, $11b$ の受信電圧の符号の取り方は逆になる。一方、ベクトル受信コイル $11V$ を構成する両コイル $11a$, $11b$ は近接して配置されているため、外部の絶対座標系（XYZ座標系）で見たときにはそれらにおける電磁場の方向や大きさは共通である。このため、これら両コイル $11a$, $11b$ の受信電圧のベクトル差をとると、それぞれのコイルのZ成分は相殺される。

【0052】これに対して、X方向についてはコイル $11a$, $11b$ は互いに逆向きのコイルと等価であるから、これらのコイル $11a$, $11b$ の受信電圧のベクトル差をとると、これは、この2つのコイル $11a$, $11b$ の結合をX軸方向に伸びる1本のコイルと見なしたときの受信電圧に相当する。上記「関係表1」での用語に合わせてそれを「Xコイル」と呼ぶことになると、ベクトル受信コイル $11V$ が適正誘導方向にあるときには、このXコイルは地中送信コイル 21 のコイル軸 A_{11} と同軸になり、受信電圧が最大になる。そして、それよりも左右上下のいずれにせれても受信電圧が低下する。したがって、方向誘導においてはこのXコイルは左右上下の誘導に利用可能である。ただし、後述するようにこのような最大電圧の検知よりも最小電圧の検知の方が勝るために、このXコイルによる方向誘導は補助的に使用される（「関係表1」の①の行を参照）。

【0053】次に、ベクトル受信コイル $11V$ を構成す

る第2のコイル $11a$ と第3のコイル $11b$ とのそれぞれの受信電圧のベクトル和を考える。

【0054】このようなベクトル和を考えると今度はそれぞれのZ成分が相殺され、この2つのコイル $11a$, $11b$ はZ軸方向に伸びる1本のコイルと見なすことができる。これを「Zコイル」と呼ぶことにすると、ベクトル受信コイル $11V$ が適正誘導方向にあるときには、Yコイル（受信コイル $11Y$ ）と同様の原理で、このZコイルの受信電圧が最小になる。そして、それよりも上下のいずれにせれても受信電圧の絶対値が上昇する。したがって、方向誘導においてはこのZコイルは上下方向（垂直方向）の誘導に利用される。（「関係表1」の③の行を参照）。

【0055】受信コイル $11Y$ およびベクトル受信コイル $11V$ はまた、どこまで掘削を進めればよいか、ないしはどこで掘削方向を変更すればよいかという掘削到達目標点の検知にも使用することができる。

【0056】このうち、ベクトル受信コイル $11V$ による目標点検知は以下の原理による。すなわち、図7に示すように送信コイル 31 からの磁束は軸 A_{11} を中心とする回転対称性を有するから、ベクトル受信コイル $11V$ の対称中心軸 A_{11} が送信コイル 31 の軸 A_{11} に一致した状態P1では、第2と第3の受信コイル $11a$, $11b$ の受信電圧は等しくなる。したがって、この場合にはこれらの電圧の差（仮想的なXコイルの受信電圧）は最小（理想的にはゼロ）になる。

【0057】これに対してベクトル受信コイル $11V$ の軸 A_{11} が送信コイル 31 の軸 A_{11} の直下からはずれた状態P2では、第2と第3の受信コイル $11a$, $11b$ の受信電圧は異なる。そして、その差は軸 A_{11} の直下からの距離に応じて増加する。このため、第2と第3の受信コイル $11a$, $11b$ の受信電圧の差をモニタしつつ、それが最小になるよう掘削を誘導すれば、掘削到達目標点に相当する地表基準位置RPの直下まで掘削できる（「関係表1」の④）。この目標点から前後にずれると、受信電圧は正または負の方向に増大する。

【0058】受信コイル $11Y$ についても同様であるが（「関係表1」の⑤）、ズレ方向によって位相が反転するのは左右方向である。

【0059】これに対してベクトル受信コイル $11V$ の2つのコイル $11a$, $11b$ の受信電圧の和（仮想的なZコイルの受信電圧）は、地表基準位置RPの直下で最大になり、それから前後左右のいずれにせれても絶対値が減少する。これは、目標点誘導の補助に利用可能である（「関係表1」の⑥）。

【0060】※<送信部の回路構成>図8は、地中送信部 $20A$ および地表送信部 $30A$ の回路構成を示す図である。地中送信部 $20A$ および地表送信部 $30A$ は、基本的に送信コイルの軸方向が異なるだけであり、他の構成は実質的に同じである。

【0061】送信部20A, 30Aのそれぞれの内部回路は、精密周波数発信部110と発信コイル部120とに大別される。精密周波数発信部110においては、水晶発振器111で5MHzのメガヘルツ波を発生し、1/5000分周回路112においてその周波数を漸減して1kHzの高周波とする。そして、矩形波バッファ113において矩形高周波とする。この矩形高周波を発信コイル部120内の同調用キャパシタCと送信コイル21（または31）との直列共振回路に与えることにより1kHzの同調成分を取り出し、送信コイル21（31）から1kHzの電磁波を放射する。

【0062】ここにおいて、送信周波数として1kHzを選択しているのは、この1kHz付近では自然電流（雑音）が比較的少ないためである。また、後述するように受信部では位相検波を行うが、その受信結果に応じて掘削誘導の方向を決定するための操作時間を含めて、約1秒程度は周波数精度を保ちうるようにされている。

【0063】また、送信コイル21（31）からはできるだけ高電力の電磁波を送信することが好ましいため、発振コイル部120内のLC直列共振回路においては直列抵抗成分を下げるQ値を増大させるようにしている。

【0064】なお、図8中の要素111～113が、図3の送信回路部22および図4の送信回路部23中に収容される部分である。

【0065】使用する電磁波としては上記のように1kHz付近が最も好ましいが、それ以外にも、好ましい範囲としてたとえば0.5kHz～5kHzの範囲、さらには0.1kHz～100kHz程度の範囲の電磁波を採用可能である。短距離の誘導で足りる場合には、電波波長帯の中でさらに高い周波数範囲から選択してもよい。

【0066】※<受信部の回路構成>

* <Y誘導>図9は受信部10Aのうち、第1の受信コイル11Yで受信した信号を検波して表示するための部分を示す回路図である。この受信部内の受信コイル部210では、受信コイル11Yの両端電圧を入力バッファ回路211でバッファして増幅する。

【0067】このようにして増幅された受信信号は狭波同調增幅部（バンドパスフィルタ）220を通過することにより、受信信号のうち1kHz付近の成分を選択的に透過させる。これにより、雑音成分がカットされ、最小受信強度の検出に適した信号になる。

【0068】このようにして実質的に1kHz付近の周波数成分だけとされた受信信号は次段の二位相検波部230に入力される。この二位相検波部230の入力段において受信信号Vinは2つの系列に分岐される。第1の単位検波回路231aは、送信周波数（この実施形態の例では約1kHz）と同じ周波数fの基準信号vによってスイッチ133aを開閉するタイミング回路232a

を備えている。また、第2の単位検波回路231bは、同じ周波数fでかつ第1のタイミング回路232aとは90度ずれた位相の信号jvでスイッチ133bを開閉する第2のタイミング回路232bを備えている。なお、図において記号「j」は虚数単位であり、「jv」は「v」に対して90度だけずれた位相成分の信号であることを示す。

【0069】これらのうち、まず第1の単位検波回路231aの作用につき、図10を参照して説明する。この図10のうち図10(a)は受信信号Vinの波形を近似的に表現したものであり、図10(b)はタイミング回路232aによるスイッチ231aの開閉(ON/OFF)のタイミング信号TSを示している。

【0070】まず、図10に例示してあるように受信信号Vinとタイミング信号TSとの位相がそろっている場合には、受信信号Vinのうち正の極性部分だけが切り出され、図10(c)のような半波波形になる。それを第9の平滑回路234aで平滑化することにより、受信信号Vinの強度を示す受信強度信号Vrが得られる。ただし、この受信強度信号Vrは正負の符号付きの信号であり、受信信号Vinが図10(a)の波形を反転させたものであれば、受信強度信号Vrの符号はマイナスになる。

【0071】一方、図9の第2の検波回路231bでは、図10(b)と90度だけ位相がずれたスイッチングがなされる。したがって、図10(a)に例示したように受信信号Vinがスイッチング信号vと位相が揃っているときには受信信号Vinの正極性部分と負極性部分とを半分ずつ切り出すことになり、平滑後には受信強度信号Vr(図9)はゼロとなる。

【0072】逆に、受信信号Vinがスイッチング信号vと90度だけ位相がずれているときには、第2の検波回路231bからの受信強度信号Vrが有限値となり、第1の検波回路231aからの受信強度信号Vrはゼロとなる。

【0073】電子回路理論において周知のように、任意の信号（ここでは受信信号Vin）をその位相を考慮してベクトル形式で表現したとき、図11に示すように90度だけずれた2つの信号位相軸vおよびjvへの成分に分解可能であり、それら2つの成分をベクトル合成すれば、元の信号Vinの絶対値と位相を得ることができる。

【0074】この原理に従って、図9のベクトル合成部240では、二位相検波部230の2系統の出力Vr、Vtをベクトル合成する。具体的には、絶対値／位相算出回路241が、

【0075】

$$【数1】 V = (V_r^2 + V_t^2)^{1/2}$$

によって受信電圧の絶対値Vを受信強度として求めるとともに、受信電圧の位相に関する情報θを算出する。受信電圧の位相については、厳密式として

【0076】

$$[\text{数2}] \theta = \arctan(V_e/V_g)$$

を算出してもよいが、この装置では受信コイル11Yが適正誘導方向に対して水平面内で左右どちらの方向にずれているかを知れば足りるため、正負の符号のみで位相を表現する。

【0077】ここで、正負の符号の定め方の例として図12を参照する。この図12の例では、基準周波数fを持つ信号vの位相と、これに対して90度ずれた位相を持つ信号jvとを座標軸とする2次元位相空間を想定し、受信電圧の合成ベクトルが第1または第2象限にあるときには「正の位相」、第3または第4象限にあるときには「負の位相」と定義する。ただし、jv座標軸上のベクトルについては、jv軸の正の方向を「正の位相」、jv軸の負の方向を「負の位相」としておく。したがって、たとえば受信電圧ベクトルが図示のVeである場合には正の位相となり、Vgである場合には負の位相となる。

【0078】このような位相の極性を定義した場合において、受信コイル11Yを水平面内で回転させたような場合を考えると、たとえば図12のVeの状態から同じ位相のままで序々にベクトルの長さ（絶対値）が減少し、適正誘導方向では実質的にベクトルの長さがほぼゼロになる。そして、適正誘導方向を過ぎてさらに受信コイル11Yを回転させると今度はVgの方向（Veの逆方向）にベクトルが伸び始め、その後に序々にベクトルの長さ図示のVgの状態に至る。

【0079】したがって、トンネルの掘削誘導において各受信コイルを内蔵した受信部10Aの方向を任意の方向から序々に変化させたとき、最初はいずれかの極性で有限の受信電圧値が観測され、それから次第に電圧値が減少して最小値（理想的にはゼロ）に到達する。その方向が適正誘導方向であるが、この適正誘導方向を行きすぎたときには逆の極性の方に電圧が振れる。したがって、これによって「向きを変化させ過ぎた」ことを認識可能であり、逆方向に戻すことによって最終的に適正誘導方向を特定可能である。

【0080】図12のように位相の極性を定義した場合には、位相を表現する情報としてVg成分の符号だけを知ればよい。また、Vg成分がゼロの場合のみ、Vg成分が正であるか負であるかを参照する。Vg成分およびVg成分の双方がゼロの場合は絶対値がゼロであるから極性はいずれに定義しても実質的に同じである。

【0081】具体的には、図9の絶対値／位相算出回路241が、上記の判断基準に従ってVg成分およびVg成分の符号を判定し、

【0082】

【数3】

$$\theta = +1 \quad (\text{正極性の位相の場合})$$

$$\theta = -1 \quad (\text{負極性の位相の場合})$$

となるような位相信号θを発生する。ただし、ここにおける「+1」、「-1」は論理値として相互に識別されなければ足りる。また、図12のjv軸上に受信電圧ベクトルがある場合は例外的な場合に過ぎないため、同相成分Vgの符号のみによって位相情報θを得てもよい。

【0083】なお、図12は一例に過ぎず、どの半平面を「正」にするかは任意に定めることができる。適正誘導方向をはさんで極性が反転しさえすればよいためである。

【0084】図9の受信強度信号Vと位相信号θとは対数增幅部250に入力される。LOGアンプ251は受信強度信号Vを入力して対数增幅を行う。これは、受信強度が最小値付近である領域のスケールを拡大し、それからかなり離れた方向についてはスケールを圧縮することにより、装置のダイナミックレンジを有効に利用するためである。これにより、限られたダイナミックレンジを使用して、有効適正誘導方向からかなり大きくはずれている範囲は荒く、適正誘導方向に近づくと精密に方向検知を行うことができる。

【0085】LOGアンプ251の出力は、

【0086】

【数4】 $\log(V)$

となるが、仮にその入力が受信強度Vの2乗であっても、出力は

【0087】

【数5】 $2 \cdot \log(V)$

のようになるだけである。このため、既述した数1の絶対値計算において平方根を求める処理は省略しておいてもかまわない。

【0088】対数增幅された信号は次段の位相付与回路252に与えられ、位相信号θで表現された位相（この例では位相の極性）が付与される。したがって、対数增幅部250の最終的出力は、受信信号Vinの強度を対数変換し、位相に応じた符号を付与したものとなる。

【0089】これを次段のメータ260で表示することにより、受信信号Vinの強度と位相極性とを視認可能となる。この情報は左右方向の方向誘導のほか、位置誘導にも利用可能である。

【0090】なお、図9の回路構成要素のうち、入力バッファ回路211は図5の受信回路部12内に設けられるが、狭波同調増幅部220から対数増幅部250までの部分は受信回路部12に収納してもよく、図1のモニタ部10Mに収納されてもよい。

【0091】※ <XYZ誘導>図13は、第2の受信コイル11aおよび第3の受信コイル11bで受信した各信号は、それぞれ受信コイル部310a、310b内の入力バッファ回路31

1a, 311bでそれぞれバッファして増幅される。
【0093】このようにして増幅された各受信信号は狭波同調増幅部（バンドパスフィルタ）320a, 320bをそれぞれ通ることにより、受信信号のうち送信周波数に対応する周波数成分（この実施形態の例では1kHz付近の成分）を選択的に透過させる。これにより、雑音成分がカットされ、最小受信強度の検出に適した信号になる。

【0094】このようにして実質的に送信周波数成分だけとされた受信信号は次段の二位相検波部330a, 330bに入力される。これらの二位相検波部330a, 330bの構成と動作とは、図9の二位相検波部230と同じである。

【0095】したがって、一方の二位相検波部330aからは、位相が基準信号vと同相の成分V₊₊と逆相の成分V₋₊とが取出され、他方の二位相検波部330bからも、位相が基準信号vと同相の成分V₊₊と逆相の成分V₋₊とが取出される。

【0096】次段のベクトル合成部340では、これら4つの出力V₊₊, V₋₊, V₊₋, V₋₋から、

- (1) v成分の和 (V₊₊+V₋₋)
- (2) v成分の差 (V₊₊-V₋₋)
- (3) j v成分の和 (V₋₊+V₊₋)
- (4) j v成分の差 (V₋₊-V₊₋)

を求めて出力する。

【0097】これらのうち、v成分の和 (V₊₊+V₋₋)と、j v成分の和 (V₋₊+V₊₋)とは次段の絶対値/位相算出回路342に与えられてそれらのベクトル合成がなされ、ベクトル和の絶対値として、

【0098】

【数6】

$V_z = [(V_{++} + V_{--})^2 + (V_{-+} + V_{+-})^2]^{1/2}$

が算出される。これは、上下方向の方向誘導のための情報になるとともに、位置誘導にも利用される。

【0099】また、v成分の差 (V₊₊-V₋₋)と、j v成分の差 (V₋₊-V₊₋)とは他方の絶対値/位相算出回路343に与えられてそれらのベクトル合成がなされ、ベクトル差の絶対値として、

【0100】

【数7】

$V_x = [(V_{++} - V_{--})^2 + (V_{-+} - V_{+-})^2]^{1/2}$

が算出される。これは、左右上下方向の方向誘導の補助として使用されるとともに、位置誘導のための情報にもなる。

【0101】位相についても同様であり、水平誘導につき図12で説明したような定義に従って、

【0102】

【数8】

$\theta_z = +1$ (ベクトル和が正極性の位相の場合)

$\theta_z = -1$ (ベクトル和が負極性の位相の場合)

【0103】

【数9】

$\theta_x = +1$ (ベクトル差が正極性の位相の場合)
 $\theta_x = -1$ (ベクトル差が負極性の位相の場合) のような位相極性情報が得られる。

【0104】これらのうち、受信強度信号（絶対値信号）Vzと位相極性信号 θ_z とは次段の対数増幅部350Z内に与えられ、LOGアンプ351Zにおいて受信強度信号Vzの対数増幅がなされるとともに、位相付与回路352Zにおいて位相信号 θ_z で表現された位相極性が付与される。

【0105】同様に、他方の受信強度信号（絶対値信号）Vxと位相極性信号 θ_x とは次段の対数増幅部350X内に与えられ、LOGアンプ351Xにおいて受信強度信号Vxの対数増幅がなされるとともに、位相付与回路352Xにおいて位相信号 θ_x で表現された位相極性が付与される。

【0106】そして、これらを次段のメータ360Z, 360Xでそれぞれ表示することにより、(a) Xコイルの受信信号の強度および位相極性、(b) Zコイルの受信信号の強度および位相極性、が視認可能となる。

【0107】なお、図13の回路構成要素のうち入力バッファ回路311a, 311bは図5の受信回路部12内に設けられるが、狭波同調増幅部320a, 320bから対数増幅部350Z, 350Xまでの部分は受信回路部12に収納してもよく、図1のモニタ部10Mに収納されてもよい。

【0108】また、図9の回路の説明中で行った変形事項は、この図13の回路においても適用可能である。

【0109】※<モニタ部10Mの外観例>図14はモニタ部10Mの外観例を示している。モニタ部10MはケーシングCSの上面に、図9および図13で説明したメータ260, 360X, 360Zを配列してなる。また、電源スイッチなどの他の操作スイッチや各種表示部をあわせて配置する。

【0110】メータ260を例にとれば、中央部にゼロ点があり、左右にプラス・マイナスの電圧指示目盛がある。他のメータも同様である。

【0111】それぞれのメータの近傍には、方向誘導の際の判断基準が文字表示されている。メータ260の例では、方向誘導の際には左右方向の誘導表示として読み取り、最小値の方向を捜す旨が、そして目標点までの位置誘導（ポイント誘導）の際にも同様であることが示されている。メータ360Y, 360Zについては、方向誘導の際と位置誘導の際とで、メータの読みの最大値を見るか最小値を見るかが異なる。

【0112】※<掘削誘導の方法>以上のような構成を有するこの掘削路誘導装置は次のようにして使用することができます。

【0113】まず、図1のように配置した地中送信部2

0 A 中の送信コイル 2 1 から電磁波を一定期間（たとえば 10 秒程度）放射する。既述したように、地中送信部 2 0 A からの電磁波は、トンネル 1 の掘削計画図を参照してトンネル 1 を誘導すべき方向を特定し、それへ向けて発射される。送信部 2 0 A の設置位置での方位の特定は、コンパスその他の既知の手段で行えばよい。

【0114】このような送信が行われると、トンネル 1 内で掘削機 2 の後方に設置した受信部 1 0 A でそれを受信し、モニタ部 1 0 M（図 14）におけるメータのうち、特に左右方向誘導用のメータ 2 6 0 と上下方向誘導用のメータ 3 6 0 Z との表示状態に着目する。

【0115】モニタ部 M のこれらのメータをオペレータが目視し、左右方向誘導用のメータ 2 6 0 と上下方向誘導用のメータ 3 6 0 Z との双方がそれぞれ最小値（理想的にはゼロ）になるまで受信部駆動機構 2 D を遠隔操作して受信部 1 0 A を左右上下にゆっくりと首振り回転させることにより、その地点での適正誘導方向を捜す。残りのメータ 3 6 0 X の最大値方向はその際の補助として利用可能である。

【0116】そしてそのような適正誘導方向が見つかった場合には、掘削機 2 の本体を遠隔操作してその適正誘導方向に掘削方向を誘導する。モニタ部 1 0 M での表示がプラス・マイナスの極性符号付きであるため、適正誘導方向を捜すにあたって、首振り回転を始めた側から見て適正誘導方向を通り過ぎた場合にはメータの逆の極性方向に振れてしまうため、そのような通り過ぎが生じたことを直ちに知ることができ、早期に戻り操作を行わせることができる。

【0117】以後の掘削作業の途中においても適宜にモニタ部 1 0 M を参照して、適正誘導方向への掘削がなわれているかを監視し、それからずれそうなときには誘導方向の修正を行う。

【0118】一方、このような方向誘導のための送信とは別の期間に地表送信部 3 0 A から地中に向けてほぼ鉛直方向に電磁波を放射する。そして、Y 方向のメータ 2 6 0 と X 方向のメータ 3 6 0 X との強度が最小値（ほぼゼロ）になって地表基準位置 R P の直下であることがわかれば、掘削をいったん中断する。これに際しては、Z 方向のメータ 3 6 0 Z の表示が最大になったかどうかを補助的に利用可能である。

【0119】そして新たな基準位置を設定し、そこからの電磁波を用いて同様の作業を進めることができる。

【0120】ここにおいて、方向誘導と位置誘導とを別々に行っているのは、地中送信部 2 0 A からの電磁波と、地表送信部 3 0 A からの電磁波との混信を避けるためであるが、それぞれの送信および受信周波数をずらせておくような場合には同時に送信し、それぞれの波長を分離してもかまわない。

【0121】また、掘削方向の変更を行う場合には、次の目標方向に図 1 のボーリング坑 5 と同様のボーリング

坑を掘り、そこに地中送信部 2 1 A を移すとともに、新たな掘削到達目標点に地表送信部 3 1 A を移動させて、上記と同様の掘削誘導を行えばよい。

【0122】※<受信信号強度の最小値検出の利点>ところで、既述したように、受信コイル 1 1 Y は、切羽 3（正確には、切羽 3 の付近に配置した受信部 1 0 A）の向きが適正誘導方向に一致するとその受信強度が最小になることを主に利用している。これに対して、仮に X 方向に伸びる受信コイルの受信電圧を参考し、その受信強度が最大になる方向を検出して掘削誘導をするように構成してもよい。実際、この実施形態の装置においては、方向誘導において X コイル（ベクトル受信コイル V の X 成分）の受信電圧が最大になることを補助的に利用している。

【0123】このように最大強度の検出を補助的にのみ使用しているのは、最小強度の検出の方が、①適正誘導方向の特定におけるシャープネスが高まるなど、検出処理そのものにおいて有利であるとともに、②対数増幅の効果などが大きく、検出結果の表示にも適している、という利点があるためである。その理由は以下の通りである。

【0124】まず、①の点については、図 15 のようにコイル軸が X 方向に向いたコイル 1 1 X を想定し、その受信電圧の最大強度を検知するようにした構成を想定する。このとき、受信コイル 1 1 X が垂直面内で矢印 R T のように傾いた状態 Z S を考える。この場合、受信コイル 1 1 X を貫く磁束は受信コイル 1 1 X が水平である場合とは異なるものとなる。すなわち、このような構成の場合には、水平面内での方向誘導のために設けられた受信コイル 1 1 X に垂直面内方向への傾きが生じると、水平面内の磁束成分だけでなく垂直面内の磁束成分も受信信号に影響することになる。このため、このような構成の場合には受信電圧が最大になる方向を特定するにあたってのシャープネスがあまり高くない。

【0125】これに対して図 16 のように受信コイル 1 1 Y の軸を Y 方向とすれば、受信コイル 1 1 Y が垂直面内で矢印 R T のように傾いても受信コイル 1 1 Y の軸方向は実質的に変化しない。一方、図 16 におけるもうひとつ垂直面内すなわち Y Z 平面内で受信コイル 1 1 Y が傾けば、この受信コイル 1 1 Y のコイル軸はその方向に傾く。しかしながら、この場合にも磁束分布の対称性（回転対称性）から図 16 の状態の受信コイル 1 1 Y を貫く総磁束量は実質的に変化しないため、この傾きによる実質的な影響もない。

【0126】このように、図 16 の構成では受信コイル 1 1 Y の垂直面内の傾きによる実質的な影響はなく、水平面内での適正誘導方向が特にシャープに定まることになる。すなわち、垂直方向の傾きの影響を排除して水平面内での方向誘導をより正確に行うには、受信信号が最小になる方向をとらえるようにすることが好ましいこと

になる。ここでは水平面内での方向誘導について考えたが、この事情は他の方向誘導や位置誘導でも同様である。

【0127】このような事情はさらに図17によっても理解できる。この図17は受信コイルを各方向に向けたときに受信電圧の強度がどのように変化するかという方向依存性を模式的に示す図である。ただし、この図17では受信信号の極性をも考慮して受信強度に正負の符号を付けている。

【0128】送信コイルから発射された電磁波による磁束の方向分布は、近似的に三角関数によって表現することができる。そして、最大強度方向付近では余弦関数的な偶の対称性を持つとともに、最大強度方向からの微少な方向ズレに対しての受信強度の変化率は小さい。

【0129】したがって、最大強度方向を検出するように構成した場合には、その検出におけるシャープネスが低いとともに、最大強度方向からはずれた状態においては最大強度方向からいずれの側にずれているかまでは区別できないため、受信強度の絶対値だけを知るにとどまる。

【0130】これに対して最小強度方向を検出するように構成した場合には、図16のように最小強度方向付近では正弦関数的な奇の対称性を持ち、最小強度方向からの微少な方向ズレに対しての受信強度の変化率が大きい。このため、検出におけるシャープネスが高いとともに、最小強度方向からはずれた状態においては受信信号の極性によって、最小強度方向からいずれの側にずれているかまでも区別できる。

【0131】これらが、受信電圧の最小の方向を検知することを主に使用する第1の利点である。

【0132】また、第2の利点に対応する上記のについては、受信強度が最大の付近で検知を行うようになると、その最大値付近の差を増幅して細かく表示しようとしても、増幅器のダイナミックレンジをオーバーしてしまい、出力が飽和してしまうという事情がある。これに対してゼロ強度付近の最小電圧は十分に増幅可能であり、上記のように対数増幅を行えば、適正誘導方向に相当する最小値（ゼロ強度）付近は詳細に、かつ最小値からかなり離れた大きな強度部分はおおまかに表示することが可能である。これは、まずおおまかに適正誘導方向のあたりに方向づけを行い、その後に受信部11Aの方向を微妙に変化させて適正誘導方向を定めるというようなトンネル掘削での方向誘導操作に特に適している。

【0133】以上の理由により、この実施形態の装置では受信電圧の最小値を指標として誘導を行うように構成されているのである。

【0134】※<実施形態による主な効果と変形例>以上のように、この実施形態の方法では基準位置からの電波波長帯の電磁波の放射と、切羽3付近によるそれの検出を通じて基準位置と切羽との空間位置関係を求め、

それによって掘削誘導を行っているために、直進掘削であるか曲進掘削であるかにかかわらず、効率的に掘削誘導が可能である。

【0135】なお、上記実施形態では受信電圧の位相をも考慮して適正誘導方向からのズレまで表示しているが、原理的には受信信号の最小電圧（または最大電圧）の方向さえ知れば足りるのであるから、そのような位相を求めるることは必須ではない。

【0136】また、モニタ部10Mをトンネル1の坑内に入れておく場合には、適正誘導方向を検出するために受信部10Aの方向を変化させる作業を手作業で行っても良い。また、受信部10Aの出力信号を掘削機2の推進制御部に与えることにより、常に適正誘導方向に向かって掘削するような自動制御も可能である。

【0137】すなわち、適正誘導方向を検出して掘削を進める方向を特定した後にどのような方法で掘削機2をコントロールするかは任意である。

【0138】また、上記の実施形態のように指向性を有する電磁波を利用する方が好ましいが、無指向性的電磁波であっても切羽から見れば発信部が存在する方向とそれ以外の方向とでは受信電圧が異なるから、方向誘導の原理を阻害するものではない。

【0139】さらに、互いに離れた複数の基準位置にそれぞれボーリング坑を掘削し、それらからの電磁波を切羽で受信すれば、三角測量の原理によって、方向だけでなく切羽の2次元的ないしは3次元的な位置を特定することができる。この場合も、時間的にずらせて各ボーリング坑からの電磁波を発射してもよく、波長を変えて同時に送信・受信してもよい。

【発明の効果】以上、説明したように、この発明の方法では、地中を伝播可能な高周波の電磁波を利用して切羽の方向や位置を確認できるため、トンネルの推進工法において、直進掘削だけでなく曲進掘削においても掘削路の誘導を正確に行うことができる。

【0141】また、切羽付近で電磁波を受信するだけによいため、第2の従来技術と異なり、曲進掘削において内張管が移動すると反射鏡やレーザ送受信装置を設置し直す必要がない。このため、作業時間や人手も少なくてすみ、効率的な掘削路誘導が可能である。

【0142】特に、請求項2の発明では指向性を有する電磁波を利用することにより、切羽の方向や位置の特定がより正確になる。

【0143】請求項3の発明では、基準位置を地中位置としているため、その方向への直進性を確認するために特に有効である。

【0144】また、請求項4の発明では、上記の地中位置に向かう方向で電磁波の受信強度が最小になるようにしているため、ダイナミックレンジを大きくとらなくても受信信号を増幅しやすいという利点もある。

【0145】請求項5の発明では、基準位置を地表位置としているため、その地表位置の直下への到達性を確認するために特に有効である。

【0146】また、請求項6の発明では、上記の地表位置に向かう方向で電磁波の受信強度が最小になるようしているため、ダイナミックレンジを大きくとらなくても受信信号を増幅しやすいという利点もある。

【0147】請求項7の発明では切羽付近での受信強度を対数変換して表示させているため、基準位置に対する切羽の空間的関係の大まかな把握と、その後の微妙な調整とを両立させることができある。

【0148】また、請求項8の発明は上記の請求項1の方法などの実施に適した装置となっている。

【0149】さらに、請求項9の発明は請求項7の対数変換に関する手段を備えて構成されているため、基準位置に対する切羽の空間的関係の大まかな把握と、その後の微妙な調整とを両立させることができある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施形態を適用する状況例を示す図である。

【図2】図1を上方から透視的に見て電磁波の送信部および受信部に関する部分のみを示した模式的平面図である。

【図3】地中送信部20Aの内部構成の概要を示す構成図である。

【図4】地表送信部30Aの内部構成の概要を示す構成図である。

【図5】受信部10Aの内部構成の概要を示す透視図である。

【図6】地中に配置した送信コイル21と、受信部10中の受信コイル11Yとの位置関係を上方から見た模式図である。

【図7】地表に配置した送信コイル31と、受信部10*

*中のベクトル受信コイル11Vとの位置関係を上方から見た模式図である。

【図8】地中送信部20Aおよび地表送信部30Aの回路構成を示す図である。

【図9】受信部10Aのうち、第1の受信コイル11Yで受信した信号を検波して表示するための部分を示す回路図である。

【図10】受信信号の位相検波の原理を示す波形図である。

【図11】受信信号の位相分解の説明図である。

【図12】位相極性の定義のための説明図である。

【図13】受信部10Aのうち、ベクトル受信コイル11Vで受信した信号を検波して表示するための部分を示す回路図である。

【図14】モニタ部10Mの外観例を示す図である。

【図15】受信電圧の最大強度を検知するようにした構成の場合の説明図である。

【図16】受信電圧の最小強度を検知するようにした構成の場合の説明図である。

【図17】受信電圧の最大強度の検知と最小強度の検知との比較のための説明図である。

【符号の説明】

1 トンネル

2 掘削機

3 切羽

10A 受信部

10M モニタ部

30A 地表送信部

20A 地中送信部

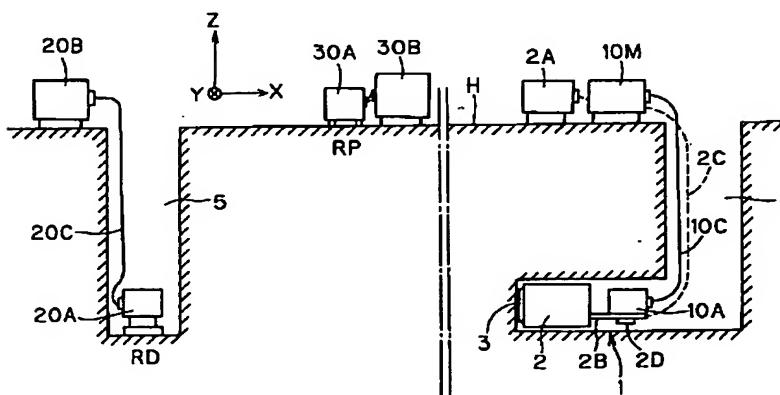
21 受信コイル

11Y ベクトル受信コイル

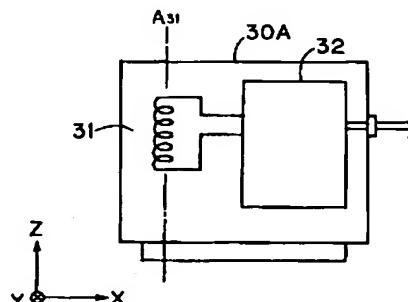
250, 350Z, 350X 対数増幅部

260, 360Z, 360X メータ

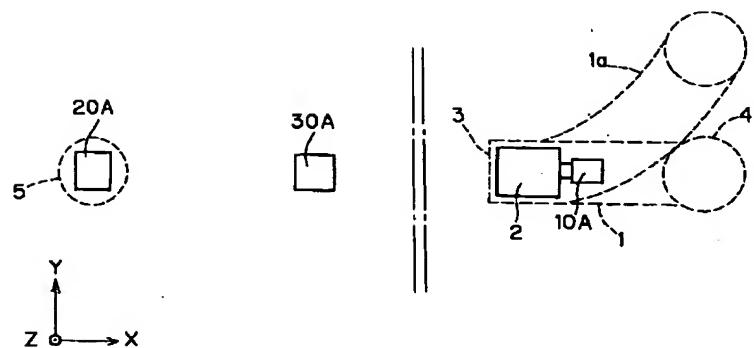
【図1】



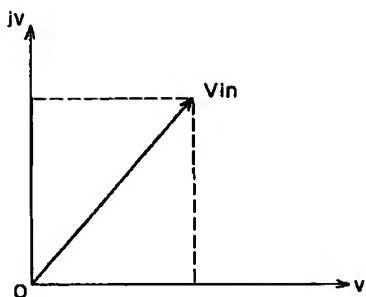
【図4】



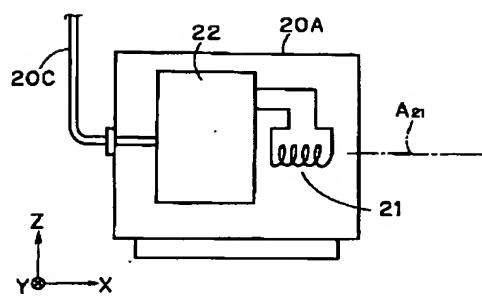
【図2】



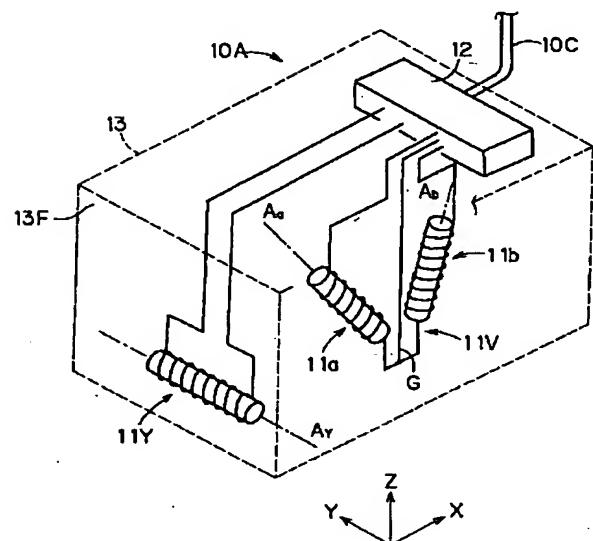
【図11】



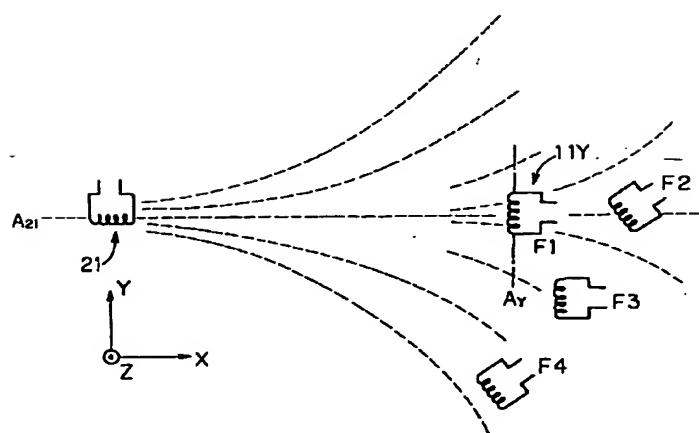
【図3】



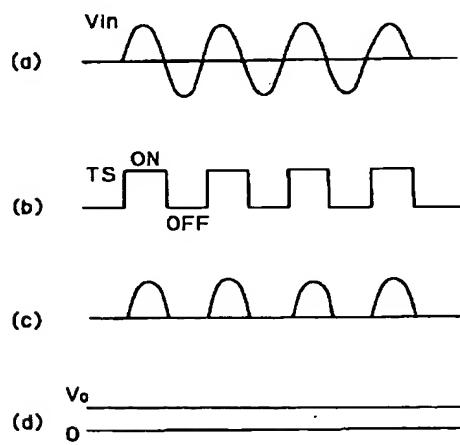
【図5】



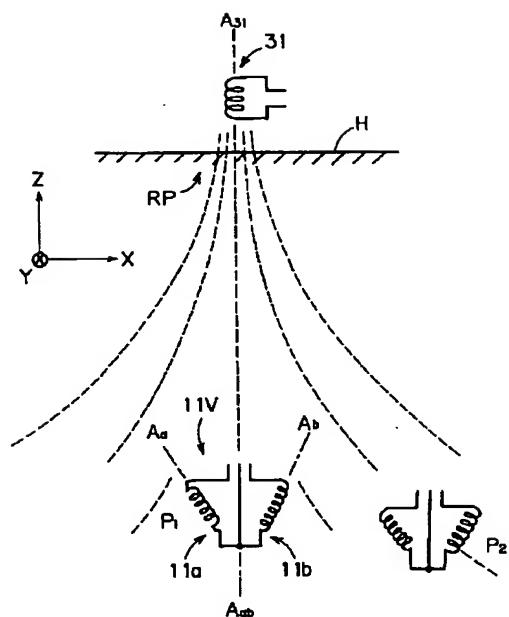
【図6】



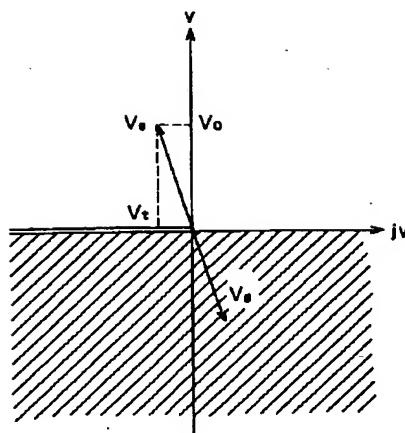
【図10】



【図7】



【図12】

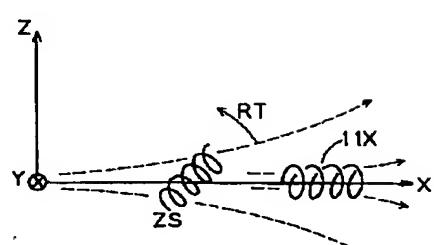


【図8】

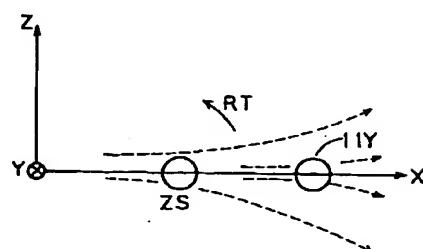
20A,30A

110:精密周波数発振部

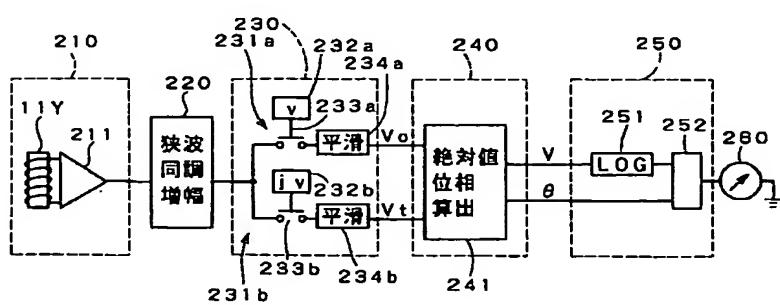
120:発振コイル部



【図16】

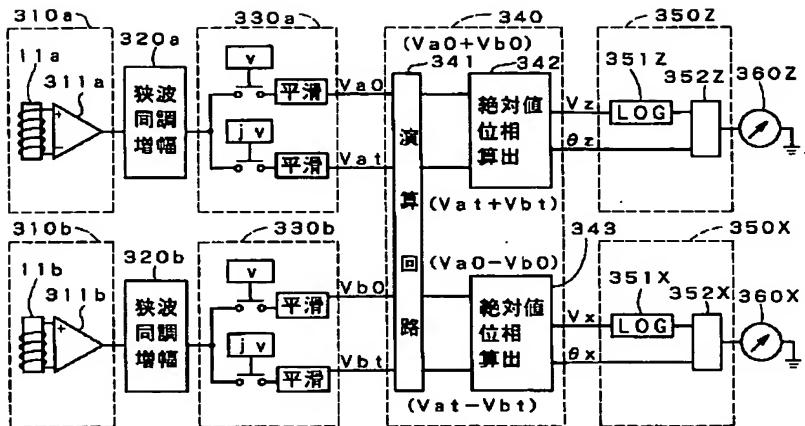


【図9】



$$V = \sqrt{V_o^2 + V_t^2}$$

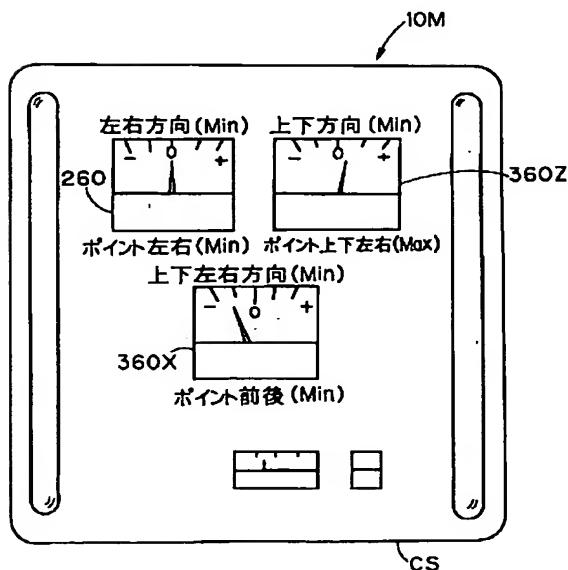
【図13】



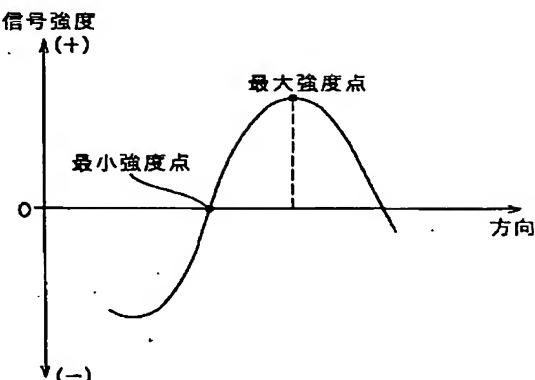
$$V_z = \sqrt{(V_{a0} + V_{b0})^2 + (V_{at} + V_{bt})^2}$$

$$V_x = \sqrt{(V_{a0} - V_{b0})^2 + (V_{at} - V_{bt})^2}$$

【図14】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 芳本 充陽
大阪府大阪市北区中之島3-3-22 関西
電力株式会社内

(72)発明者 東 義則
千葉県佐倉市宮前1-13-4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.